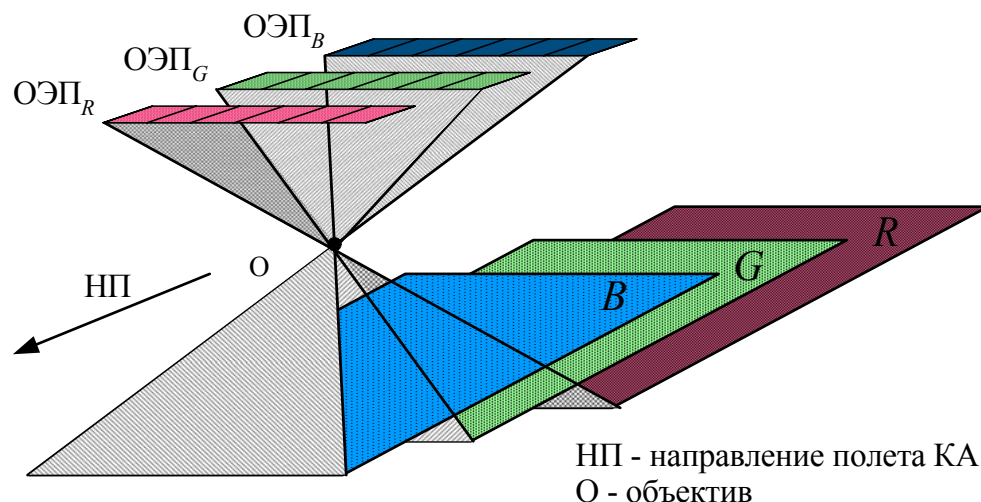


# АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦВЕТОСИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ИНФОРМАЦИИ ОТ СПУТНИКА «РЕСУРС-ДК»

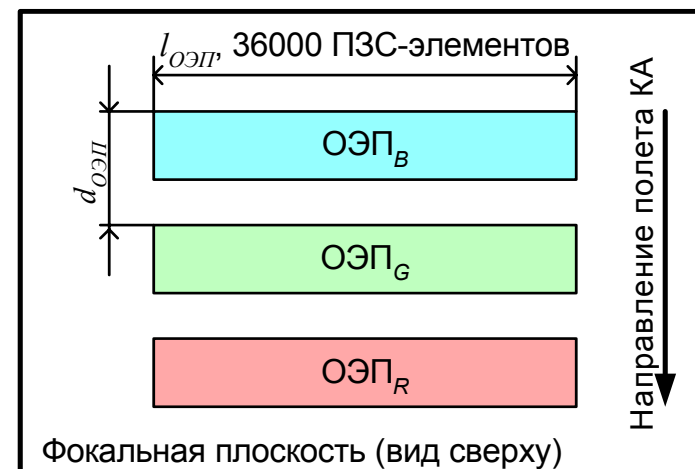
Гомозов О.А., Еремеев В.В., Кузнецов А.Е., Пресняков О.А.,  
Светелкин П.Н.



**Рис. 1. Схема спектральной съемки  
тремя ОЭП**

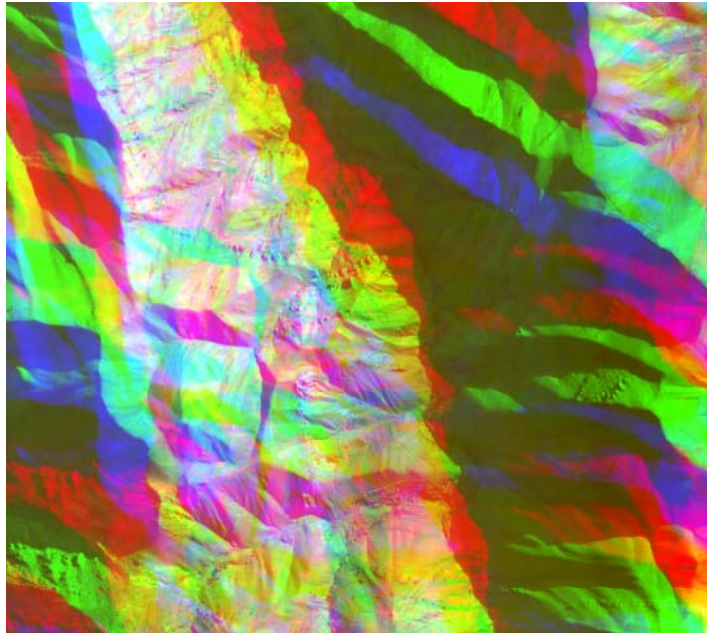
Два основных режима съемки: BGR и BPR. В результате съемки получаем снимки  $B = \{b(m_b, n_b)\}$ ,  $G = \{g(m_g, n_g)\}$  или  $P = \{p(m_p, n_p)\}$ ,  $R = \{r(m_r, n_r)\}$ ,  $m_k = \overline{1, M}$ ,  $n_k = \overline{1, N}$ ,  $k \in \{b, g, r\}$  или  $k \in \{b, p, r\}$ .

Задачи формирования ЦСИ: геометрическое совмещение и синтез RGB-компонент при начальных взаимных рассогласованиях до 1000 пикселей.



**Рис. 2. Схема размещения ОЭП  
в фокальной плоскости**

## СОВМЕЩЕНИЕ СНИМКОВ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ ГЕОПРИВЯЗКИ



**Рис. 3. Фрагмент снимка, совмещенного по уравнениям геопривязки**

Координатное соответствие снимков представляется в виде:

$$\begin{aligned} m &= f_{g\varphi}^{-1} [f_{b\varphi}(m_b, n_b), f_{b\lambda}(m_b, n_b)], \\ n &= f_{g\lambda}^{-1} [f_{b\varphi}(m_b, n_b), f_{b\lambda}(m_b, n_b)], \\ m &= f_{r\varphi}^{-1} [f_{r\varphi}(m_r, n_r), f_{r\lambda}(m_r, n_r)], \\ n &= f_{r\lambda}^{-1} [f_{r\varphi}(m_r, n_r), f_{r\lambda}(m_r, n_r)], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\mathbf{f}_k$  - аналитическая функция, позволяющая на основе данных об орбитальном положении КА и параметров съемочного устройства рассчитать для каждого пикселя его географические координаты  $(\varphi, \lambda)$ ,

$$\begin{aligned} \varphi_k &= f_{k\varphi}(m_k, n_k), \quad \lambda_k = f_{k\lambda}(m_k, n_k), \\ \mathbf{f}_k &= (f_{k\varphi}, f_{k\lambda}), \quad k \in \{b, g, r\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Ошибки совмещения до 100 пикселей, вызванные погрешностью определения функции  $\mathbf{f}_k$ .

## ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦВЕТОСИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Начальное геометрическое  
совмещение



Устранение остаточных  
геометрических  
рассогласований



Формирование RGB-компонент  
ЦСИ

## СОВМЕЩЕНИЕ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМА ПЕРВОГО ПОРЯДКА

$$m_r = P_{mr}(m_g, n_g) = a_{\Gamma 0} + a_{\Gamma 1} m_g + a_{\Gamma 2} n_g$$

$$n_r = P_{nr}(m_g, n_g) = a_{\Gamma 0} + a_{\Gamma 1} m_g + a_{\Gamma 2} n_g$$

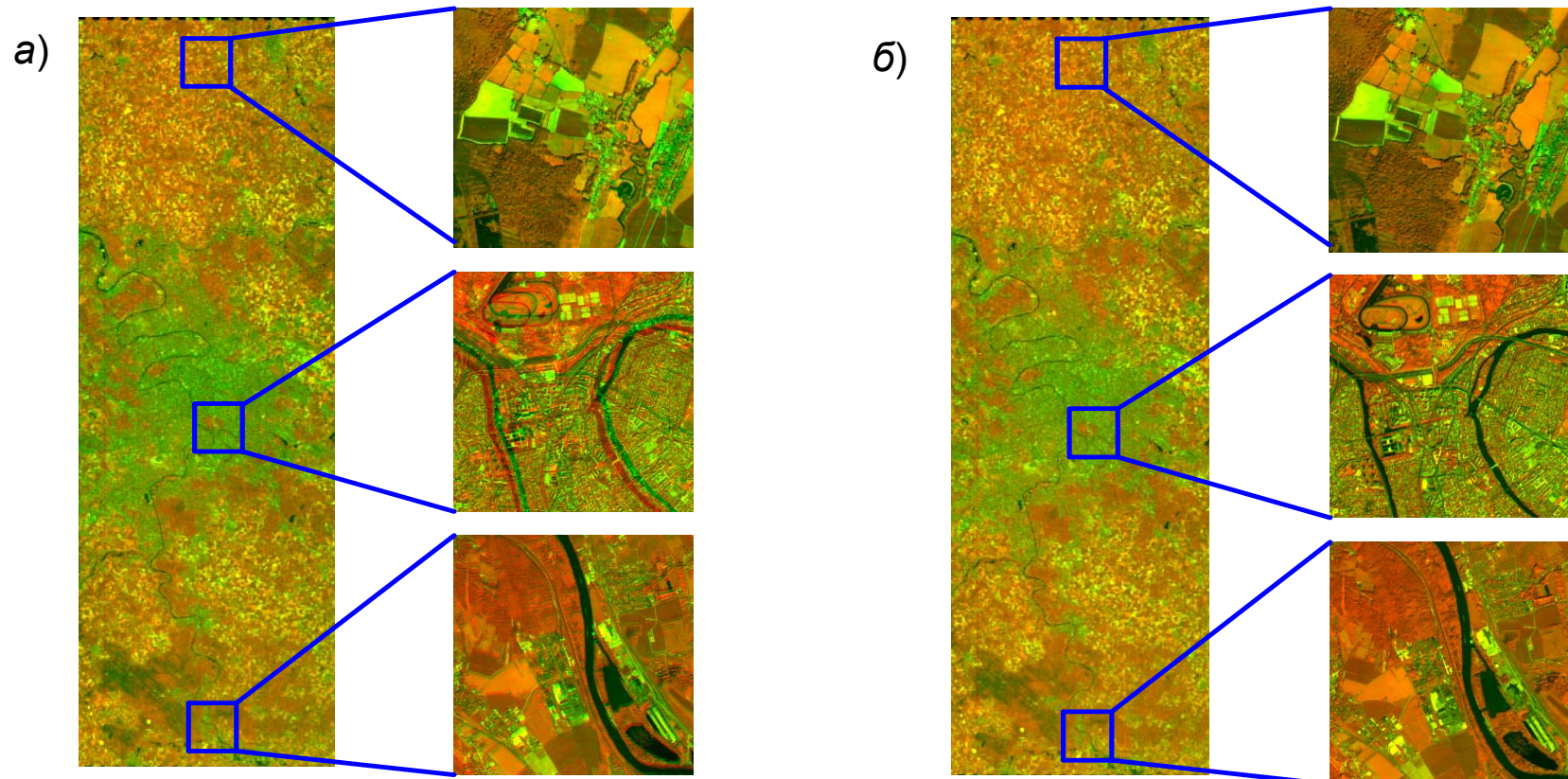
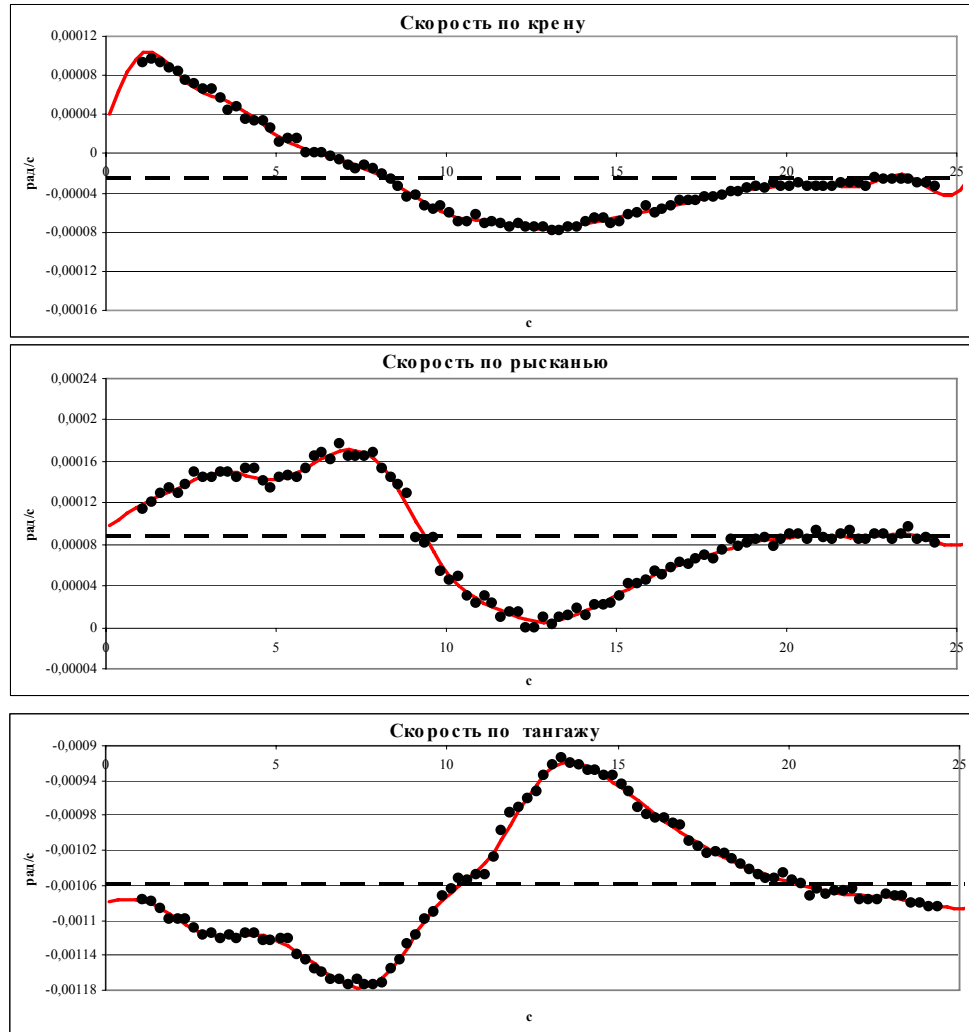


Рис. 4. Пример совмещения снимков от ОЭП<sub>Г</sub> и ОЭП<sub>В</sub> маршрута «Париж»  
а - без учета углового движения КА; б - с учетом углового движения КА

# МОДЕЛЬ СОВМЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ КА



**Рис. 5. Скорости изменения углового положения КА вдоль маршрута «Париж»**

$$m_b = P_{mb}(m, n) - \Delta\omega(n)H,$$

$$n_b = P_{nb}(m, n) - \Delta\alpha(n)H,$$

$$m_r = P_{mr}(m, n) + \Delta\omega(n)H,$$

$$n_r = P_{nr}(m, n) + \Delta\alpha(n)H,$$

где  $\Delta\omega(n) = \sum_{j=n}^{n+7} |v_{OX}^{\phi}(j)| \Delta t$  - скорость

по крену,

$\Delta\alpha(n) = \sum_{j=n}^{n+7} |v_{OZ}^{\phi}(j)| \Delta t$  - скорость по

тангажу,  $\Delta t = 0,25c$ ,

$v_{OX}^{\phi}$  и  $v_{OZ}^{\phi}$  - значения угловой скорости после фильтрации.

Точность совмещения по маршруту:  
равнинная местность - до 15 пикселей;  
горные районы - до 30 пикселей.

## Идентификация одноименных сюжетов с использованием пирамидального представления изображений

а) Формирование пирамиды разномасштабных фрагментов:

$$\mathbf{B}_i^* = \tilde{\mathbf{B}}_{i1}^* \xrightarrow{\Psi_2} \tilde{\mathbf{B}}_{i2}^* \rightarrow \dots \rightarrow \tilde{\mathbf{B}}_{iS}^*, \mathbf{G}_i^* = \tilde{\mathbf{G}}_{i1}^* \xrightarrow{\Psi_2} \tilde{\mathbf{G}}_{i2}^* \rightarrow \dots \rightarrow \tilde{\mathbf{G}}_{iS}^*, s = \overline{1, S}, i = \overline{1, I}, \quad (3)$$

где  $y_s$  - функция масштабного преобразования с коэффициентом  $m_s$ .

Функция  $y_s$ :

- прореживание (для  $m_s=8$  средняя ошибка 4,3 пикселя);
- усреднение (для  $m_s=8$  средняя ошибка 3,6 пикселя).

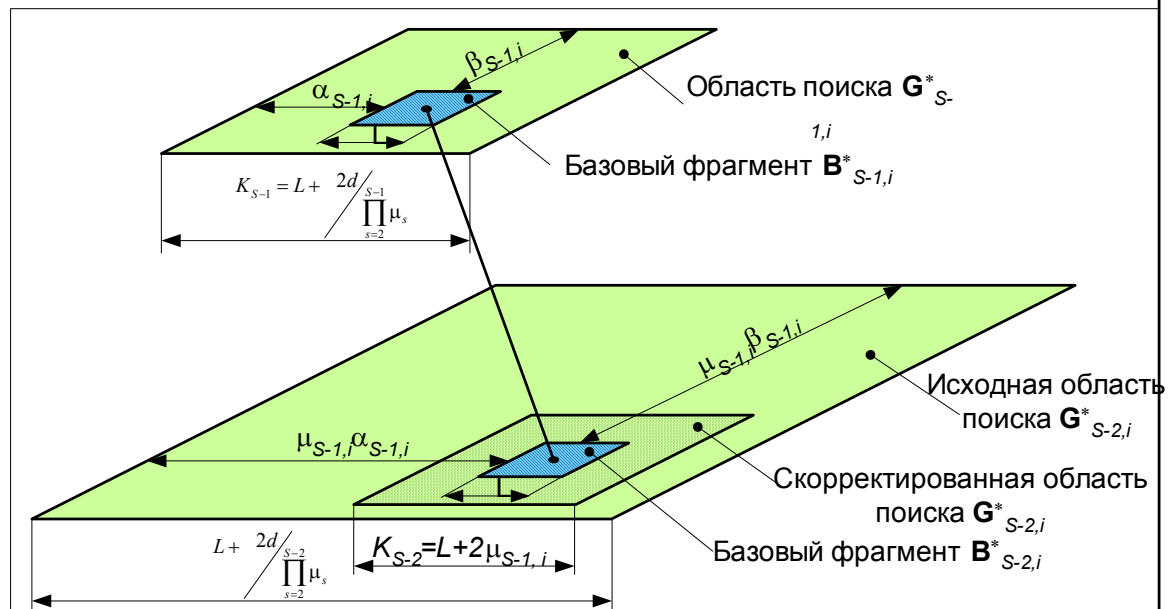
б) Выбор информативных сюжетов

в) Переход к контурному виду:

$$C : \{ \mathbf{B}_i \rightarrow \mathbf{B}_i^*, \mathbf{G}_i \rightarrow \mathbf{G}_i^*; i = \overline{1, I} \} \quad (4)$$

где  $C$  - оператор пространственного дифференцирования Собела.

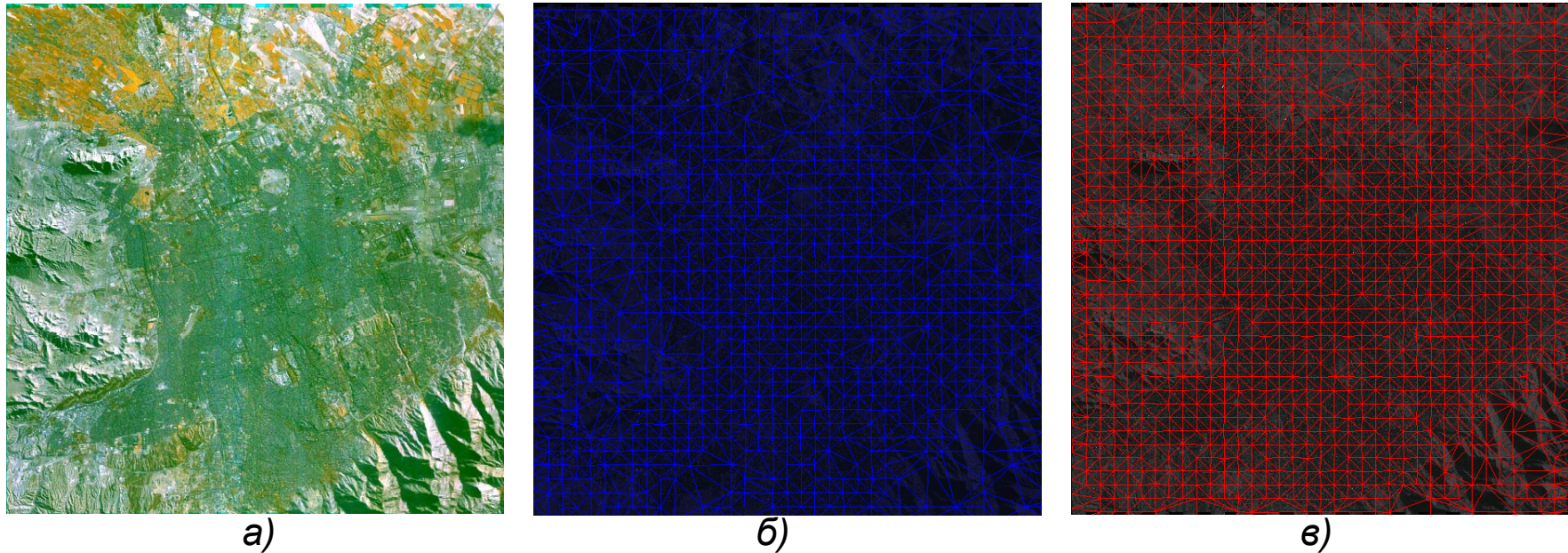
г) Корреляционно-экстремальное отождествление на различных уровнях пирамиды изображений (рис. 6)



**Рис. 6. Уточнение области поиска**

# УСТРАНЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ВЗАИМНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Коррекция совмещения снимков с использованием триангуляционной сети.

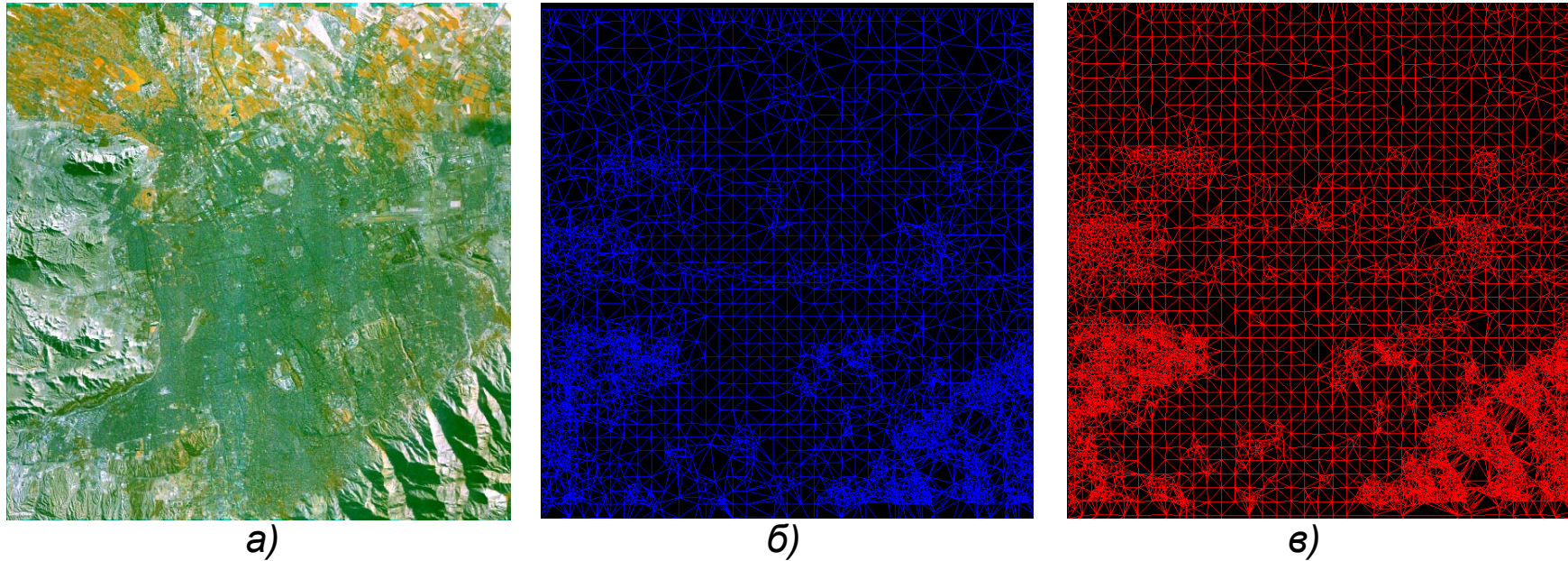


**Рис. 7. Пример совмещения снимков маршрута «Тегеран»  
с использованием триангуляции Делоне**

а - цветосинтезированное изображение; б - триангуляционная сеть на снимке от ОЭП<sub>В</sub>;  
в - триангуляционная сеть от ОЭП<sub>Р</sub>

## УСТРАНЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ВЗАИМНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Автоматическое «загущение» триангуляционной сети - детализация триангуляции - до точности совмещения снимков не менее 0,5 пикселя



**Рис. 8. Пример автоматического «загущения» триангуляционной сети на маршруте «Тегеран»**

*а* - цветосинтезированное изображение; *б* - триангуляционная сеть на снимке от ОЭП<sub>В</sub>;  
*в* - триангуляционная сеть от ОЭП<sub>Р</sub>

На снимках маршрута «Тегеран» идентифицировано 125774 точки, из них:

- 64044 отбраковано;
- 16004 использованы для построения триангуляционной сети;
- 45726 использованы в качестве контрольных.



## ФОРМИРОВАНИЕ RGB-КОМПОНЕНТ ЦВЕТНОГО СНИМКА

- 1) использование исходных спектрзональных снимков (режим RGB-съемки).
- 2) Формирование RGB-компонент для режима BPR-съемки.

*Формирование RGB-компонент модуляционным алгоритмом (режим BPR-съемки):*

а) «Размытие» спектрзональных компонент в соответствии с формулами:

$$\hat{B}^* = \hat{B} \otimes h_{s \times s}, \quad \hat{R}^* = \hat{R} \otimes h_{s \times s}, \quad (5)$$

где  $\otimes$  - операция свертки с маской размытия  $h$  размером  $s \times s$  элементов,  
 $\hat{B}$ ,  $\hat{R}$  - геометрически трансформированные изображения.

б) Получение компонент цветосинтезированного изображения по алгоритму, основанном на модуляции панхроматического снимка синей и красной компонентами:

$$D_R = \frac{3\hat{R}^*}{P + \hat{B}^* + \hat{R}^*} P, \quad D_G = P, \quad D_B = \frac{3\hat{B}^*}{P + \hat{B}^* + \hat{R}^*} P, \quad (6)$$

где  $D_R$ ,  $D_G$ ,  $D_B$  - красная, зеленая и синяя компоненты цветосинтезированного изображения  $D$ , соответственно.

Достоинства:

- устранение остаточных рассогласований в 1-2 пикселя;
- возможность маскирования движущихся объектов;
- сохранение пространственного разрешения панхроматического снимка.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

- 1) Сокращение области поиска за счет учета перепада высот по цифровой модели рельефа (ЦМР) с разрешением около  $0,5^\circ$ ;
- 2) учет направления смещения снимков при КЭО;
- 3) ускорение вычислений за счет использования набора команд SSE2;
- 4) распараллеливание вычислительного процесса при КЭО и геометрических преобразованиях.



**Рис. 9. Время «загущения» триангуляционной сети при мультипроцессорной обработке**

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХЭШ-ПИРАМИДАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПАМЯТИ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СНИМКОВ СВЕРХБОЛЬШОГО ОБЪЕМА

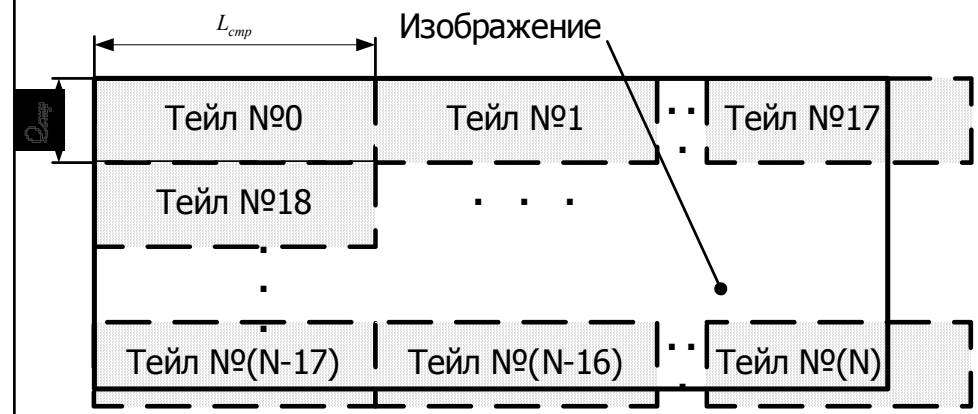


Рис. 10. Расположение изображения в памяти при тейловой организации

Номер строки изображения

а) Тейловая организация		б) хэш-тейловая организация	
0		0	
1		16	
	Тейл №0		Тейл №0
14		224	
15		240	
16		1	
17		17	
	Тейл №18		Тейл №18
30		225	
31		241	

Рис. 11. Расположение строк изображения в тейлах: а - тейловая организация, б - хэш-тейловая организация.

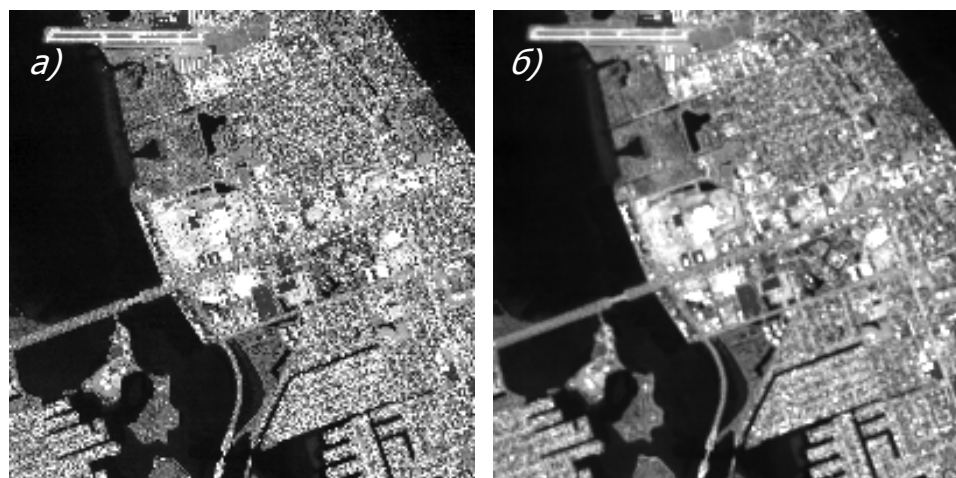


Рис. 12. Фрагмент изображения в масштабе 1:16: а - без интерполяции, б - с интерполяцией

- Результат применения хэш-тейловой организации:
- значительное уменьшение объемов считываемых с диска данных при смене масштаба отображения (более чем в 16 раз при последовательной смене масштаба);
  - оптимальная работа с файлом подкачки (повторное чтение быстрее в 12 раз).

## ПРИМЕРЫ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

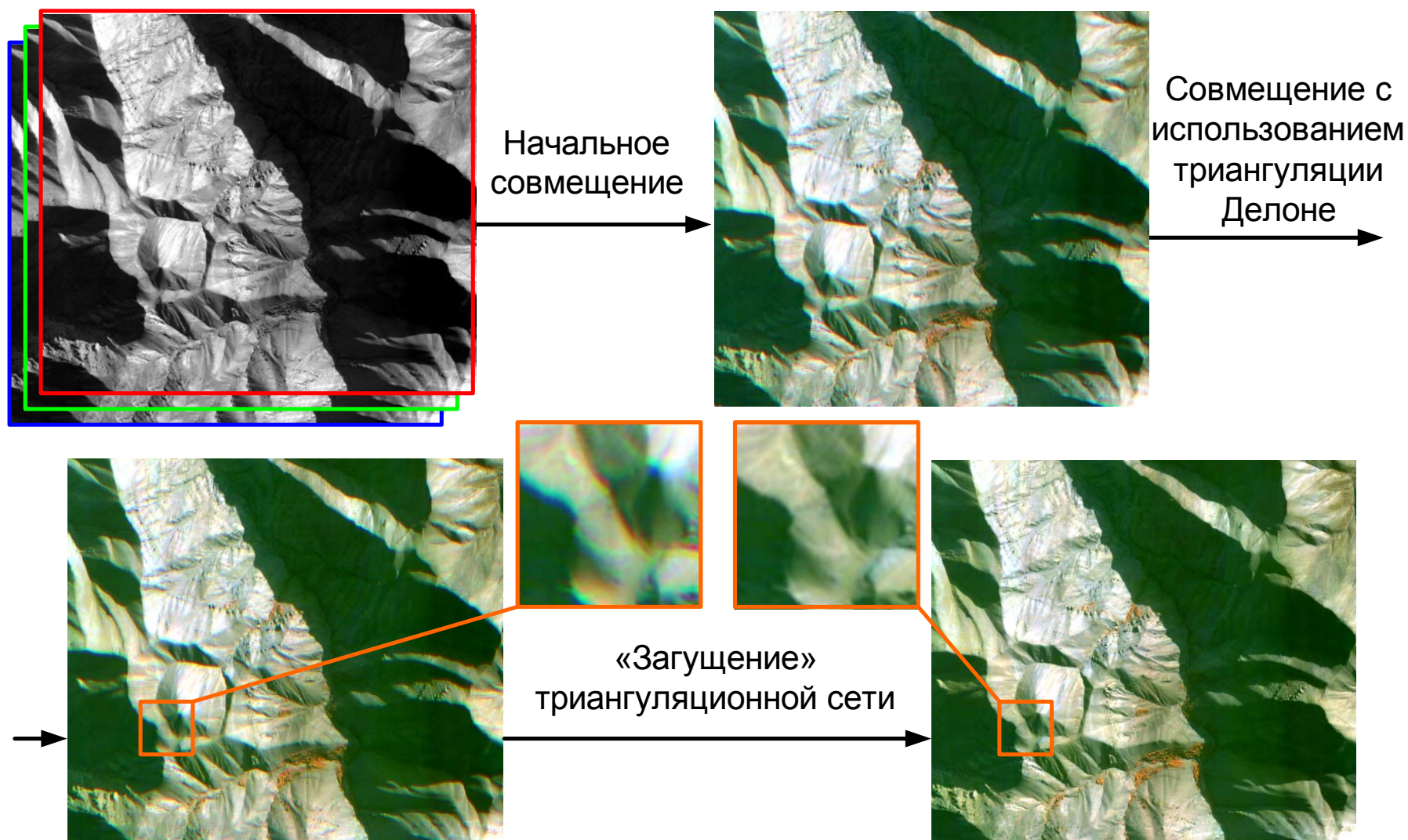


Рис. 13. Этапы геометрического совмещения RGB снимков

# ПРИМЕРЫ РАБОТЫ МОДУЛЯЦИОННОГО АЛГОРИТМА СИНТЕЗА RGB-КОМПОНЕНТ

13

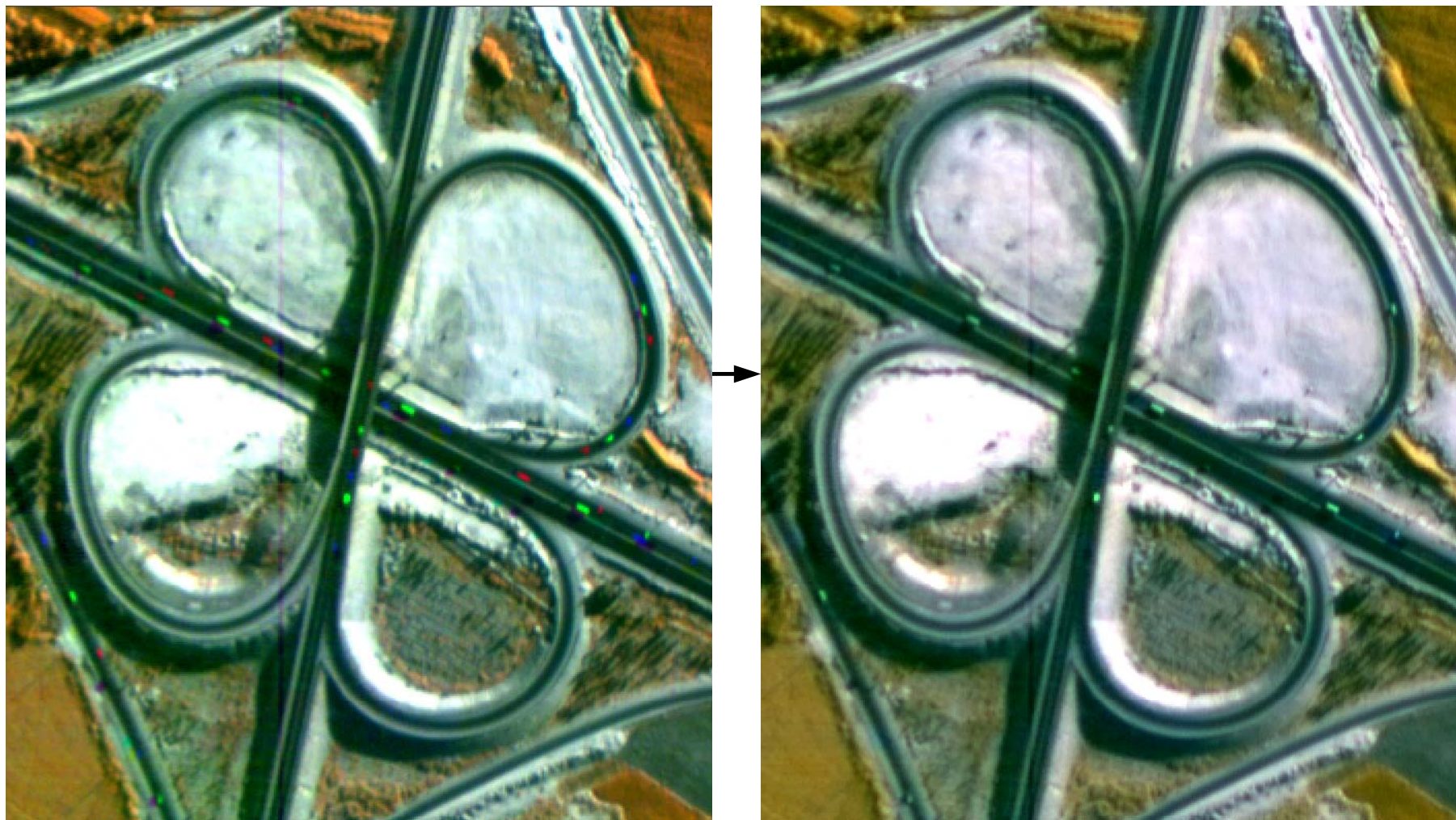


Рис. 14. Пример маскирования движущихся объектов

## ПРИМЕРЫ РАБОТЫ МОДУЛЯЦИОННОГО АЛГОРИТМА СИНТЕЗА RGB-КОМПОНЕНТ

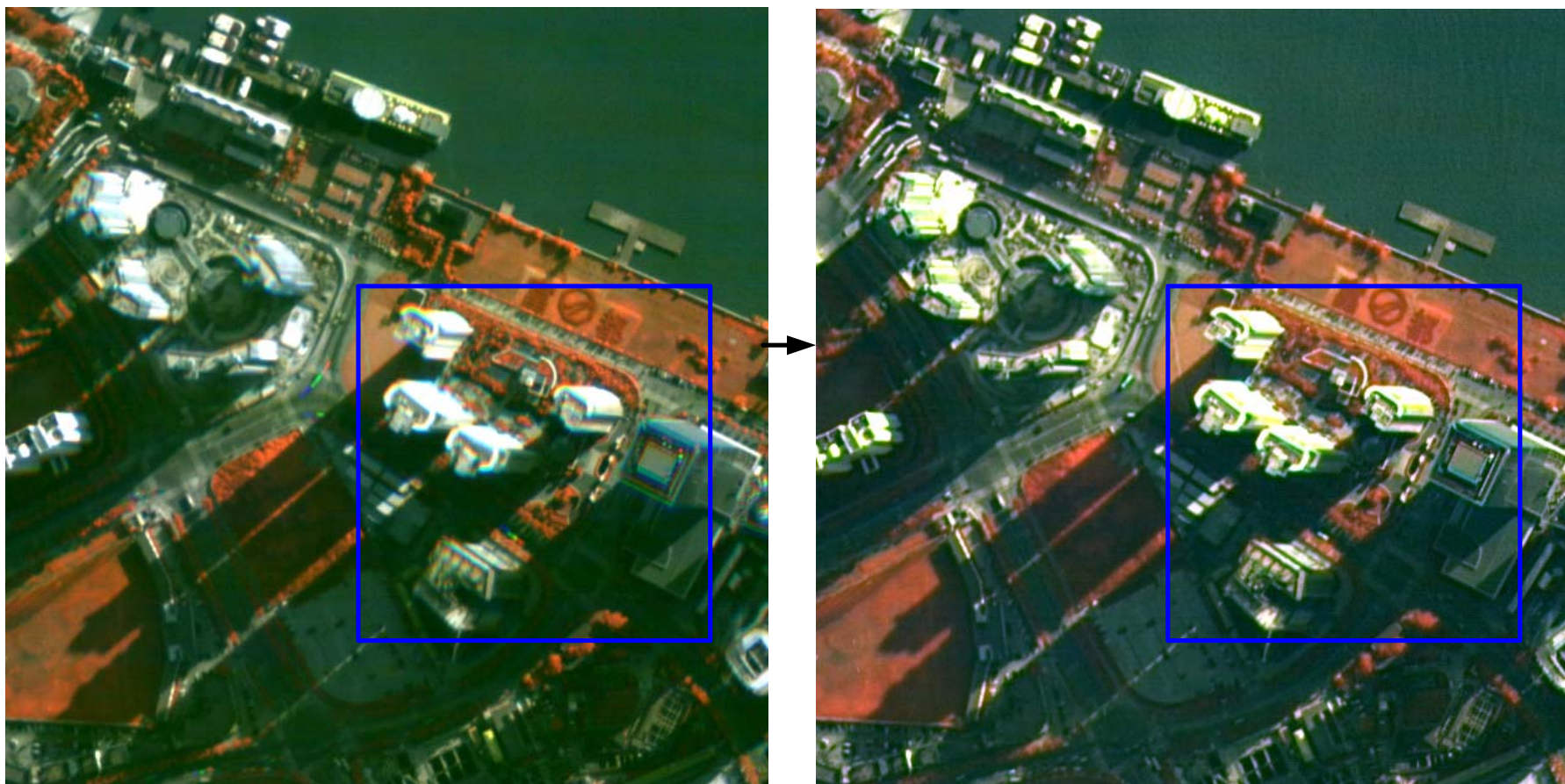


Рис. 15. Пример устранения остаточных несведений

## РЕЗУЛЬТАТЫ

- 1) Полная автоматизация.
- 2) Формирование обзорных и детальных ЦСИ.
- 3) На 8-процессорной ЭВМ достигнуто время обработки условного кадра (36000x36000 пикселей) 27,5 минут, из которых:
  - начальное геометрическое совмещение 1,5 минуты;
  - совмещение с использованием триангуляции Делоне 4 минуты;
  - «загущение» триангуляционной сети 12 минут;
  - сохранение 10 минут.